



BEUTH HOCHSCHULE FÜR TECHNIK BERLIN
University of Applied Sciences

Masterarbeit

- CFD-Simulation eines ölgeschmierten Zahnradgetriebes -

Verfasser:

Recep Cerrahoglu

Angestrebter akademischer Grad:

Master of Science (M.Sc.)

Betreuer/Erstgutachter:

Prof. Dr.-Ing. Peter Bartsch

Externer Betreuer:

Dr. rer. nat. Andreas Spille-Kohoff

Zweitgutachter:

Prof. Dr. Frank Haußner

Abgabedatum:

14.04.2016

Inhaltsverzeichnis

Erklärung	I
Danksagung	II
Kurzfassung der Arbeit	III
Abstract	IV
Inhaltsverzeichnis	V
Tabellenverzeichnis	VII
Abbildungsverzeichnis	VIII
1. Einführung	1
1.1. Einleitung & Motivation	1
1.2. Aufbau der Arbeit	2
1.3. Stand der Technik	3
2. Grundlagen der Getriebetechnik	4
3. Grundlagen der Strömungssimulation	9
3.1. Grundgleichungen	9
3.2. Mehrphasenströmungen	12
3.3. Freie Oberflächenmodellierung	14
3.4. Turbulenzmodellierung	15
4. Grundlagen der CFD	18
4.1. Diskretisierung	18
4.2. Lösung der diskretisierten Gleichungen	22
4.3. Qualitätskriterien und Fehlerquellen	25
4.4. Allgemeiner Arbeitsablauf	27
5. Simulation des Stirnradgetriebes	28
5.1. Die Geometrie	28
5.2. Die Vernetzung	29
6. Voruntersuchungen in 2D	35
6.1. Pre-Processing	36
6.2. Gitterstudie	60
6.3. Zeitschrittweitenstudie	66
6.4. Wiederholung der Voruntersuchungen	72

7.	Simulation des Stirnradgetriebes.....	75
7.1.	2D-Simulation.....	75
7.1.1.	Die Geometrie.....	75
7.1.2.	Aufgetretene Probleme.....	77
7.1.3.	Ergebnisse & Auswertung.....	78
7.2.	3D-Simulation.....	86
7.2.1.	Die Geometrie.....	86
7.2.2.	Ergebnisse & Diskussion.....	87
7.2.3.	Aufgetretene Probleme.....	89
8.	Zusammenfassung und Ausblick.....	92
9.	Literaturverzeichnis.....	94

8. Zusammenfassung und Ausblick

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, mit der von der Firma CFX Berlin Software GmbH ursprünglich für Rotationsverdrängermaschinen entwickelten Vernetzungssoftware TwinMesh die Netze für eine von der Technischen Universität München vorgegebene CAD-Geometrie eines Stirnradgetriebes mit zwei Zahnrädern aus einem Verspannungsprüfstand zu erstellen, und anschließend herauszufinden, ob und wie mit den erstellten Netzen in ANSYS Fluent 16.2 eine Strömungssimulation mit Mehrphasenströmung und freier Oberfläche des mit Öl geschmierten Getriebes durchgeführt werden kann.

Dazu wurde im ersten Kapitel der aktuelle Stand der Technik bezogen auf die Simulation von Stirnradgetrieben eingeführt. Im zweiten Kapitel erfolgte ein Überblick über die Grundlagen der Getriebetechnik. In den darauffolgenden beiden Kapiteln wurden die notwendigen Grundlagen der Strömungsmechanik wie die Grundgleichungen, die Mehrphasenströmung, die freie Oberflächenmodellierung und die Turbulenzmodellierung sowie die Grundlagen der computergestützten Strömungssimulation (CFD) wie die Diskretisierung, die Lösung der diskretisierten Gleichungen, Qualitätskriterien und Fehlerquellen sowie der allgemeine Arbeitsablauf eingeführt.

Aufbauend auf den Grundlagen wurde in Kapitel 5 die Geometrie und die Durchführung der Strömungssimulation des Stirnradgetriebes vorgestellt. Mit Hilfe der von der Firma CFX Berlin Software GmbH entwickelten Software TwinMesh wurden für die beiden Zahnräder hochwertige strukturierte Gitter erstellt. Mit der Software ANSYS ICEM CFD wurde das ebenfalls strukturierte Gitter für das Gehäuse generiert.

Im sechsten Kapitel wurden die Pre-Processing-Einstellungen im Hinblick auf die Implementierung des VOF-Modells mit der Level-Set Methode vorgestellt. Mit den festgelegten Einstellungen wurden eine Referenzsimulation und einige Voruntersuchungen an einem vereinfachten 2D-Modell mit lediglich einem Zahnrad durchgeführt. Zunächst wurde ein Vergleich zwischen der Referenzsimulation und einer Simulation mit einem größeren Interface-Bereich um das Zahnrad herum durchgeführt. Grund hierfür war, dass das Öl in der Referenzsimulation in den Zahnzwischenräumen mittransportiert wurde. Es konnte festgehalten werden, dass trotz eines größeren Interface-Bereiches der Effekt weiterhin bestand. In einer weiteren Untersuchung wurde der Vergleich zwischen der impliziten und expliziten Lösungsform durchgeführt. Es zeigte sich, dass die Rechenzeit mit der expliziten Lösungsform deutlich geringer war. Jedoch wurde auf die Verwendung in den weiteren Simulationen verzichtet, da nach der Erfahrung der Mitarbeiter von CFX Berlin Software GmbH die explizite Lösungsform für mehrphasige Strömungssimulationen mit kleinen Zeitschrittweiten ungeeignet ist. Anschließend wurde ein Vergleich zwischen verschiedenen Umdrehungsgeschwindigkeiten des Zahnrades durchgeführt. Es konnte ermittelt werden, dass mit einer geringeren Umdrehungsgeschwindigkeit der Wärmefluss vom Zahnrad auf die umgebenden Fluide sowie die Verlustmomente abnehmen.

Des Weiteren wurde eine Gitter- und eine Zeitschrittweitenstudie mit sechs verschiedenen Gitterauflösungen bzw. acht verschiedenen Zeitschrittweiten durchgeführt. Bei der Auswahl des für die weiteren Simulationen zu verwendenden Gitters sowie der Zeitschrittweite wurde auf die Expertise der Firma CFX Berlin Software GmbH zurückgegriffen, die auf langjährige Erfahrungen in der Strömungssimulation zurückgreifen kann.

Somit wurde das Gitter mit einer maximalen Elementgröße von 0,7 mm und eine Zeitschrittweite von 240,3 μ s verwendet, da eine höhere zeitliche und räumliche Diskretisierung aufgrund des höheren Rechenaufwandes keine wesentlichen Vorteile im Hinblick auf die Strömungsvorgänge im Stirnradgetriebe bringen konnte.

Kapitel 7 beinhaltet die Erläuterung und Auswertung der durchgeführten zwei- und dreidimensionalen Simulationen des Stirnradgetriebes. Bei der Gittergenerierung für die 2D-Simulation gab es zu Beginn Probleme am Interface zwischen beiden Zahnrädern. Es traten Artefakte in Form von Lücken und Überlappungen auf. Diese konnten mit Hilfe eines eigens von der Firma CFX Berlin Software GmbH entwickelten Fortran-Codes vermieden werden. Die 2D-Simulation brach aufgrund eines zu hohen Druckes im Spalt zwischen den beiden Zahnrädern vorzeitig ab. Trotz Verwendung eines idealen Gases, der Reduzierung der Umdrehungsgeschwindigkeiten der beiden Zahnräder und Verfeinerung des Gitters konnte das Problem nicht behoben werden. Es wurde die Vermutung aufgestellt, dass aufgrund des zweidimensionalen Modells keine Luft in die Zahnkammern nachströmen und somit das Öl seitlich nicht ausweichen kann.

Für die 3D-Simulation mussten weitere Gitter für die Räume zwischen den Zahnrädern und der Außenwand generiert werden. Zur Rotation der Zahnräder und der neu erstellten Gitter für die Zwischenräume mussten das „Moving-Mesh“ und das „Dynamic-Mesh“ – Verfahren kombiniert und simultan verwendet werden. Die Berechnung brach bei dem Übergang von dem ersten zum zweiten Zeitschritt ab. Grund für den Abbruch scheint zu sein, dass sich die neu generierten Gitter der Zwischenräume nicht mit den Zahnrädern zusammen mitdrehen und somit Lücken entstehen.

Aufgrund der geringen Zeitspanne konnten die aufgetretenen Probleme jedoch nicht näher untersucht werden, sodass es mit der derzeitigen Konfiguration unter ANSYS FLUENT 16.2 nicht möglich ist, eine Strömungssimulation mit Mehrphasenströmung und freier Oberfläche des mit Öl geschmierten Getriebes durchzuführen. Daher soll ein kleiner Ausblick auf zukünftige mögliche Arbeiten weitere nützliche Untersuchungsmöglichkeiten darstellen:

- **TwinMesh**
Zur Vermeidung von Artefakten am Interface zwischen den beiden Zahnrädern könnte versucht werden, den genutzten Fortran-Code in die Software TwinMesh zu implementieren. Dadurch könnte der Anwender Zeit sparen und das Gittergenerierungsprogramm TwinMesh würde um die Maschinenelemente der Zahnräder erweitert werden.
- **Spritzschmierung**
Bei hohen Umdrehungsgeschwindigkeiten der Zahnräder ist es sinnvoller eine Spritzschmierung zu verwenden. Eine Untersuchung könnte wesentliche Vorteile in der Ölverteilung im Vergleich zur Tauchschrnung aufzeigen.
- **Materialeigenschaften**
Um die Effekte der viskosen Erwärmung durch die in Kapitel 2 erläuterten Verluste zu berücksichtigen, wäre ein Simulationsmodell ohne vereinfachte Materialeigenschaften denkbar.
- **Spaltstudie**
Durch das Vergrößern des Spaltes zwischen den beiden Zahnrädern in der Software TwinMesh könnten weitere Simulationen gestartet werden, wodurch der Druck zwischen den beiden Zahnrädern verringert werden könnte.